近 30 a 台特玛湖地区土地利用/土地覆被变化 及其影响因素

贾丹阳[1,2,3]，熊祯祯[1,2,3]，高 岩[1,2,3]，张杰华[1,2,3]，王姝怡[1,2,3]，赵元杰[1,2,3]

（1. 河北师范大学资源与环境科学学院，河北 石家庄 050024；2. 河北省环境演变与生态建设实验室， 河北 石家庄 050024；3. 河北省环境变化遥感识别技术创新中心，河北 石家庄 050024）

摘 要：土地利用/土地覆被变化对干旱区生态环境变化有明确的示意义。基于台特玛湖地区 1988—2017 年 Landsat 遥感数据、土地利用数据和气象站观测数据，运用均值法、线性趋势分析法、 Pearson 相关性分析法、主成分分析法等，分析了近 30 a 来台特玛湖地区土地利用/土地覆被类型、被 NDVI（Normalized difference vegetation index）变化及其影响因素。结果表明：土地利用/土地覆 被以草地为主，草地和耕地面积均呈下降趋势，林地呈上升趋势；被 NDVI 总体呈上升趋势，但上 升趋势较缓；被 NDVI 整体偏低，仅在台特玛湖湖区周围水分条件比较好的地区高；被 NDVI 与气温和降水具有一定相关性；生态输水对该地区的植被状况改善起到了促进作用。

关 键 词：土地利用；植被 NDVI；生态环境；台特玛湖

文章编号：

土地利用/土地覆被变化是自然因素与人类活动相互作用的结果[1]。已有研究表明，土地利用变 化主要反映了人类的意志，但被覆盖度变化与气 温和降水显著相关[2-6]，并对气温和降水均存在滞后 期[7-8]，被 NDVI（Normalized difference vegetation index）变化更是气候因素和人为因素共同作用结果 的直观表现[9-11]。新疆是典型的干旱区，对气候环 境变化响应敏感，是研究土地利用/土地覆被变化对 全球变化响应的理想区域。

台特玛湖地区属于广义罗布泊的一部分[12]，位于 218 国道与 315 国道衔接地，历史上曾是古“丝绸之路”的必经之地。早在 2008 年，马明国等[13]利用

与主要补给水源的相关关系。相关研究是罗布泊生态环境变化研究的重要组成部分，对国家“一带一路”核心区的生态建设和环境保护具有重要理论意义。目前，针对台特玛湖地区土地利用/土地覆被变化的研究较少。本文以遥感影像和观测数据为基础，通过定性和定量方式，分析了近 30 a 来台特玛湖地区土地利用结构和

遥感手段研究了 1973—2006 年若羌湖泊群的动态

变化。其后，朱刚等[14]研究了车尔臣河下游的生态效应及其景观格局变化，蔡东旭等[15]阐述了台特玛湖湖盆区

物风影沙丘形态特征与

物冠形的关系，陈国亮[16]则分析了台特玛湖

同区域水面面积

被 NDVI 变化及其影响因素。

1 研究区概况

台特玛湖地区（39°05′~39°45′N、87°20′~88°40′E）位于新疆维吾尔自治区若羌县，平均海拔高度 807 m，属于暖温带极端干旱大陆性气候，年平均气温 11.8 ℃，年平均降水量 22.2 mm，年蒸发量高达 2902.2 mm，风沙活动频发。研究区内主要土壤为风沙土、胡杨林土和沼泽土。

物类型较为单一，主要以芦苇和红柳为主。该地区是由阿尔金山山前

收稿日期：2020-03-19； 修订日期：2020-12-25 基金项目：国家自然科学基金项目（41877448）；河北师范大学博士（后）基金项目（L052018B01）资助 作者简介：贾丹阳（1995-），女，硕士研究生，主要从事区域生态与环境变化研究. E-mail: 15233618939@163.com 通讯作者：赵元杰（1965-），男，教授，博士生导师，主要从事区域生态与环境变化研究. E-mail: ecoenvir@163.com

平原和塔里木河及车尔臣河冲积平原交汇处的低洼盆地积水形成，过去曾与罗布泊相通，是现代塔里木河和车尔臣河的尾闾湖和归宿地[12]。本文研究区包括台特玛湖区和车尔臣河改道后在台特玛湖西北方向 30 km 左右形成的康拉克湿地区，总面积约为 4610 km^2（图 1）。

图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Sketch map of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

遥感数据下载于美国国地质调查局 USGS 网站（http://glovis.usgs.gov/），时间为 1988—2017 年。选取近 30 a 时段内台特玛湖地区（条带号 141，行编号 33）物生长季 3—11 月受云干扰小、质量较高的影

2.2 研究方法

2.2.1 线性趋势分析 对 1988—2017 年每年年最大被 NDVI、年均气温、年降水量进行一元线性回归方法分析运算，分析同时期被 NDVI、气温和降水的变化趋势（式 1）。

$$\mathrm{Slope}=\frac{n\times\left(\sum_{i=1}^{n} i\times y_i\right)-\sum_{i=1}^{n} i\sum_{i=1}^{n} y_i}{n\times\sum_{i=1}^{n} i^2-\left(\sum_{i=1}^{n} i\right)^2} \quad (1)$$

式中：Slope 值代表被 NDVI、年均气温、年降水量变化趋势线的斜率；n 为累计监测的时间序列长度；i 代表第 i 年；y_i 表示第 i 年的年最大被 NDVI、年均气温、年降水量的值。

2.2.2 相关性分析法 采用基于像元的空间分析法，分析研究区物生长季（6—10 月）被类型和年最大被 NDVI 与气温和降水之间的相关性，得出被类型和年最大被 NDVI 与各气候因子的相关系数（式 2）。

$$R_{xy}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中：R_{xy} 为被类型和年最大被 NDVI 与气温和降水的相关系数；$\bar{x}$ 为变量 x 的均值，$\bar{y}$ 为变量 y 的均值，分别为被类型和年最大被 NDVI 平均值和研究期内的气温和降水量的平均值；x_i 为 i 年/月

被的 NDVI 值；y_i 为 i 年 i 月的气温或降水量；i 为样

像，空间分辨率为 30 m，基于 ENVI 5.1 软件对遥感

数据进行裁剪、辐射定

、大气校正、几何校正等， 提取年最大 NDVI 值，消除大气、云、太阳高度角的 干扰[17-18]，数据处理基于 ArcGIS 10.2 平台。

土地利用/土地覆被数据下载于地理国情监测云平台（http://www.dsac.cn/），空间分辨率为 30 m。

利用 ArcGIS 10.2 进行裁剪、空间分析、掩膜提取等 方法，得出台特玛湖地区主要

被覆被类型结构为 草地、林地和耕地 3 种。本文选取 1990、2000、2010、 2017 年共 4 期数据，用来表示当年

被覆被类型结 构及所占比例情况。

若羌站和且末站的逐日气象观测数据由中国气象科学数据共享

务网提供（http://cdc.cma.gov. cn/），将其整理以月、季、年为单位的气象数据。

本量。

2.2.3 主成分分析法 利用 SPSS 26 软件，运用降维 的方法对研究区年最大 NDVI 影响因素做主成分分 析。因素的方差贡献率越大，表明对年最大 NDVI 值变化的作用就越大，同时主成分分析能够减少各 因素之间的线性相关性，从而更加客观、系统地诠 释研究区年最大 NDVI 变化的驱动因素。

3 结果与分析

3.1 土地利用/土地覆被结构变化特征

近 30 a 来，台特玛湖地区土地利用/土地覆被结 构不稳定，变动性较强（表 1 和图 2）。草地一直处于 主导地位，所占比例在 5.97%~9.61%，1990—2000

表 1 1988—2017 年台特玛湖地区植被覆被类型面积比例

Tab. 1 Area fraction of vegetation cover types in Taitema Lake area from 1988 to 2017

年份	草地		林地		耕地	
	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%
1990	278.32	6.04	2.56	0.06	3.00	0.07
2000	442.79	9.61	11.75	0.26	36.28	0.79
2010	334.91	7.27	106.50	2.31	–	–
2017	275.38	5.97	5.87	0.13	0.24	0.01

图 2 1988—2017 年台特玛湖地区土地利用/土地覆被类型图

Fig. 2 Map of land use/land cover types in Taitema Lake area from 1988 to 2017

年主要沿车尔臣河道、康拉克湖泊群周围地区分布，2010—2017 年沿改道后的车尔臣主河道和输水后的塔里木河两侧分布；其次为林地，比例在 0.06%~2.31%，1990—2000 年主要分布在希瓦克恰布干地区，到 2010 年扩大到湖泊东侧周边地区以及车尔臣河下游，一直蔓延到博斯坦地区；耕地面积最少，所占比例始终足 1%，分布极为分散，2002 年车尔臣河改道后面积急剧减少，到 2017 年仅在局部地区分布。

3.2 植被 NDVI 时空变化特征

3.2.1 被 NDVI 时间变化特征 近 30 a 来，被 NDVI 值大致分布在 0.02~0.08 之间。最大值为 0.077，出现在 2015 年；最小值为 0.051，出现在 1993 年（图 3）。台特玛湖地区 NDVI 的线性变化趋向为 $0.009\cdot(30a)^{-1}$，表明近 30 a 来被 NDVI 呈微弱上升的状态。从季节变化来看，春季最大被 NDVI 的线性趋势为 $-0.027\cdot(30a)^{-1}$，夏季为 $0.021\cdot(30a)^{-1}$，秋季为 $-0.024\cdot(30a)^{-1}$。2010 年之前，夏季被覆盖度低于春季和秋季的被覆盖度，2010 年后夏季被覆盖度呈明显增加趋势，均高于春季、秋季和年均植被覆盖度。

从被类型年最大 NDVI 变化趋势来看（图 4），草地和林地 NDVI 呈缓慢上升趋势，林地增幅高于草地，分别为 $0.042\cdot(30a)^{-1}$ 和 $0.03\cdot(30a)^{-1}$，耕地 NDVI 呈显著波动的增长趋势，波动幅度较大。

3.2.2 被 NDVI 空间变化特征 对台特玛湖地区 1988—2017 年 30 a 中每年的 NDVI 最大值的平均值和 1990、2000、2010、2017 年 4 个年份的被年 ND-

图 3 台特玛湖地区年最大 NDVI 以及季节 NDVI 年际变化

Fig. 3 Interannual variation of annual maximum NDVI and seasonal NDVI in Taitema Lake area

图 4 1988—2017 年台特玛湖地区植被类型年最大 NDVI 年际变化

Fig. 4 Annual maximum NDVI interannual change of vegetation types in Taitema Lake area from 1988 to 2017

VI 最大值进行重分类，得到台特玛湖地区近 30 a 被年最大 NDVI 均值的空间分布图和 4 个重点年份 的植被年最大 NDVI 空间分布图（图 5、图 6）。

本 文 根 据 NDVI 值 划 分 出 3 类 被 覆 盖 区 ： -1.0~0.1 为无 被覆盖区、0.1~0.3 为低 被覆盖 区、0.3~0.5 为中高等 被覆盖区。图 4 和图 5 表明， 研究区整体 被覆盖面积较小，大多数为盐碱地和 荒漠， 被主要分布在台特玛湖西部区域。1990 年 代初期，康拉克沼泽湿地北部、台特玛湖面周边的 荒漠和沼泽地区 NDVI 值均处于较低水平，中高等 被 覆 盖 区 域 较 少 ，主 要 以 低 被 覆 盖 区 为 主 ； 1990 年代中后期，NDVI 值增加，低 被覆盖区域明 显扩大，硝尔库勒至罗布庄地区 被覆盖度较好。 2000 年以后，中高等 被区比例上升，主要分布在 车尔臣河改道成偏东北方向的区域、博斯坦地区以 及台特玛湖区周围。

采用一元线性回归分析方法计算得出 NDVI 的 空间变化趋势，再运用 ArcGIS 10.2 软件进行重分 类，将其分为显著减少、轻微减少、保持 变、轻微 改善、显著增加 5 类（图 7、表 2）。

由图 7 和表 2 可以看出，整体上台特玛湖绝大 部 分 地 区 被 覆 盖 度 保 持 变 ，约 占 总 面 积 的

图 5　近 30 a 台特玛湖地区植被年最大 NDVI 均值的 空间分布

Fig. 5　Spatial distribution of annual maximum NDVI average value of vegetation in the recent 30 years in Taitema Lake area

4　土 地 利 用/土 地 覆 被 变 化 的 影 响 因素

4.1　影响土地利用/土地覆被变化的自然因素

台特玛湖位于若羌县北，同时受到且末县境内 的车尔臣河影响较大，因此选用若羌县和且末县 2 个气象站的气温、降水、日照时数和空气相对湿度 等数据与台特玛湖地区年最大

被 NDVI、草地 ND- VI、林地 NDVI、耕地 NDVI 做相关分析，得出相关系 数（表 3）。

表 3 表明，年最大 NDVI 与且末的年均气温、夏 季气温和秋季气温相关系数均较高，其中，与夏季 气温相关性最为显著，相关系数为 0.506，说明伴随 着且末县近 30 a 来气温的平稳上升，导致冰川消融 带来的区外来水水量增加，在一定程度上弥补了降

91.85%。被退化区面积小，约占总面积的 3.51%，主要分布在湖区南部和湖区边界周围，在车尔臣河 改道之前这些区域水分缺乏导致被退化。车尔 臣河向北改道后，被覆盖度略有改善，被改善 面积约占总面积的 4.64%，主要分布于康拉克湖区 南部和台特玛湖东部地区。被改善面积大于 被退化面积，植被覆盖度整体上呈微弱上升趋势。

水季节分配[19]均引起的车尔臣河流量的减少，另外，气温升高会使局部区域在空气对流运动的影响 下形成降水，来维持被生长所消耗的水分，增加 该地区被的覆盖度；年最大 NDVI 值主要集中分布在秋季，说明被生长对气温可能存在一个季度 的滞后期。但年最大 NDVI 与若羌的年均气温和夏 季气温呈弱的负相关且相关性不显著。

图 6　台特玛湖地区 4 个重点年份植被年最大 NDVI 空间分布

Fig. 6　Annual maximum NDVI spatial distribution of vegetation in four key years in Taitema Lake area

表 2 植被覆盖度变化趋势

Tab. 2 Change trend of vegetation coverage

指标	斜率变化区间	面积/km²	百分比/%
显著减少	< -0.02	42.87	0.93
轻微减少	-0.02~-0.01	151.21	2.58
保持不变	-0.01~0.01	4234.28	91.85
轻微增加	0.01~0.02	118.94	3.28
显著增加	> 0.02	62.70	1.36

图 7 1988—2017 年台特玛湖地区 NDVI 变化趋势 Fig. 7 NDVI change trend of Taitema Lake area from 1988 to 2017

年最大 NDVI 与且末年均气温、夏季和秋季气 温呈正相关，与若羌和且末的夏季降水量都呈负相 关，但年最大 NDVI 与两地夏季降水的相关性均未通过置信度检验，说明该地年最大 NDVI 受且末气温的影响大于降水的影响。

年最大 NDVI 与若羌秋季相对湿度呈正相关， 湿度增加会使蒸发速率降低、

被蒸腾作用减弱， 在一定程度上维持了

被生长所需的水分，进而有 利于

被 NDVI 值的增加；除春季外；与若羌年均、

夏季和秋季日照时数表现出负相关关系，日照时数越长地表蒸发量越大，加快

被水分流失，

利于

被的生长和 NDVI 增加。总的来看，年最大 NDVI

表 3 植被类型结构和年最大 NDVI 与各气象要素的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficients between the type structure and annual maximum NDVI and various meteorological elements

植被	相关系数	站点
年最大 NDVI		若羌
		且末
草地		若羌
		且末
林地		若羌
		且末
耕地		若羌
		且末

植被	相关系数	站点
年最大 NDVI		若羌
		且末
草地		若羌
		且末
林地		若羌
		且末

耕地	若羌
	且末

注：*表示通过信度为 0.05 的检验；**表示通过信度为 0.01 的检验。

与各气候要素虽具有相关性但相关系数并高，说 明除气候要素外，影响 NDVI 变化的还有其他因素， 如维持 NDVI 的水分，仅来源于区域内降水，与区 外来水也密相关，再者区域水分除维持被生长 消耗外，形成的水面和蒸发也消耗了大量水分。

从达到显著相关的因子看，草地 NDVI 与两地 气温呈正相关关系，尤其与且末的春季气温显著性 更强一些，说明

被在生长季初始阶段，温度升高 提供了

物生长所需要的热量；与夏季降水量的相 关系数为 0.822，说明在春季草地主要受气温影响，在夏季草地主要受降水影响。林地 NDVI 与且末夏季气温、秋季降水量和夏季相对湿度呈正相关，与 若羌和且末的日照时数均呈负相关；耕地 NDVI 与 且末夏、秋季气温、春季降水量呈正相关，与且末 夏、秋季日照时数、相对湿度都呈负相关性，但均未 通过置信度检验。

4.2 影响土地利用/土地覆被变化的人为因素

本文选取与年最大 NDVI 变化显著或极显著相 关的若羌和且末的各气象因子，以及且末县 1988—2017 年人口数量和耕地面积[20]、车尔臣河径流量和 2000 年以后塔里木河到达台特玛湖的输水量数据（图 8），通过主成分分析，进一步诠释年最大 NDVI 变化的人为驱动因素。

以且末县的年均气温（β1）、年均降水量（β2）、 年均日照时数（β3）、年均相对湿度（β4）、耕地面积（β5）、人口数量（β6）；若羌县的年均气温（β7）、年均降水量（β8）、年均相对湿度（β9）、年均日照时数（β

图 8 车尔臣河年径流量及塔里木河下游输水量变化

Fig. 8 Change of Qarqan River runoff and water conveyance from Tarim River

10）；以及车尔臣河径流量（β11）、塔里木河到达台 特玛湖的输水量（β12）等作为影响因子，以向塔里 木河下游开始输水为节点，分别提取输水前后时段 4 个主成分（P1~P8），替换原有的 12 个

变量，得 出分析结果（表 4）。

从表 4 可知，在输水前时段（1988—1999 年），年 最大 NDVI 影响因子的第一主成分方差贡献率达 33.437%，其中 β1、β2、β5 和 β7 的负荷量的绝对值均 在 0.709 以上，说明且末县的年均气温、年均降水 量、耕地面积和若羌县的年均气温在 P1 中的贡献率 较大。在 P2~P4 中，β4、β2 和 β8 的负荷量的绝对值 最大分别为 0.852、0.599 和 0.775，进一步说明在输 水前时段，且末的年均相对湿度、年均降水量和若

表 4 年最大 NDVI 影响因素主成分分析

Tab. 4 Principal component analysis of influencing factors of annual maximum NDVI

时段	主成分	β1	β2	β3	β4	β5	β6	β7	β8	β9	β10	β11	β12	特征根	方差贡献率/%	累计贡献率/%
输水前	P1	0.845	-0.709	0.377	0.141	0.809	0.422	0.820	0.052	0.435	-0.344	-0.695	-	3.678	33.437	33.437
	P2	0.386	0.211	0.650	-0.852	-0.170	0.473	0.439	-0.455	-0.766	0.622	0.220	-	3.014	27.400	60.836
时	P3								0.142							

0.599 -0.217 -0.085	0.198	0.487			0.154			0.386	-0.084	-0.565	0.389	–	1.361	12.368	73.205
段														P4	
输水														P5	
	-0.579	0.064	0.832	-0.440	0.157	0.039	-0.338	0.457	-0.654	0.818	-0.101	0.099	2.692	22.437	60.002
后 P6															
	-0.205	0.793	0.170	0.351	-0.152	0.136	-0.450	0.438	0.256	-0.417	0.074	0.261	1.571	13.089	73.091
时 P7 段															
P8	0.409	0.259	0.195	-0.337	0.272	0.166	0.545	0.476	0.003	-0.202	-0.142	-0.211	1.116	9.301	82.393

注：$\beta1$~$\beta6$ 分别为且末县的年均气温、年均降水量、年均日照时数、年均相对湿度、耕地面积、人口数量；$\beta7$~$\beta10$ 分别为若羌县的年均气温、年均 降水量、年均相对湿度、年均日照时数；$\beta11$ 为车尔臣河径流量；$\beta12$ 为塔里木河到达台特玛湖的输水量。P1~P8 分别为提取输水前后时段 4 个 主成分。

羌的年均降水量对年最大 NDVI 的变化具有重要影 响。未进行生态输水年份

被主要分布于车尔臣 河下游地区，以草地为主，植被覆盖度低。

在输水后时段（2000—2017 年），2000 年以来， 共 18 次向塔里木河下游的生态输水，其中 14 次到 达台特玛湖，

被状况得到了明显改善。张帅等[21] 在对塔里木河下游 2000 年后生态输水后

被 NDVI 时空分布的研究中显示，

被 NDVI 和

被覆盖面 积 均 表 现 为 增 长 趋 势 。 P5 的 方 差 贡 献 率 达 37.565%，其 中，$\beta5$、$\beta6$、$\beta11$、$\beta12$ 的负荷量的绝对值 均在 0.785 以上，说明在输水后时段，除了受车尔臣 河的径流量影响以外，人为因素表现出极大的贡献 率，其中，且末的耕地面积、人口数量和塔里木河到 达台特玛湖的输水量绝对值分别为 0.888、0.785 和 0.834。在 P6~P8 中，$\beta2$、$\beta7$、$\beta9$ 和$\beta10$ 的负荷量的绝对值较高，表明且末年均降水量、若羌年均气温、年 均 相 对 湿 度 和 年 均 日 照 时 数 依 然 发 挥 着 重 要 作 用。自 2000 年以后开始进行生态输水后，使得湖区

被中高等覆盖度

被面积增加，分布扩大到了湖 区东北部。其中，2000 年

被覆盖区面积达到最大 值 456 km²，2010 年仅次于 2000 年，为 442 km²。

5 结 论

通过近 30 a 来台特玛湖地区土地利用和

被

NDVI 及其影响因素的分析得出以下结论：

（1）草地占 4.3%~9.6%、林地占 0.05%~2.5%、耕 地

足 1.0%。草地和林地最大 NDVI 呈缓慢上升趋势，并且林地增幅高于草地，分别为 0.042·(30a)⁻¹ 和 0.03·(30a)⁻¹，耕地 NDVI 呈显著波动的增长趋势。

（2）

被 NDVI 呈微弱上升趋势，生态环境总体向改善的方向发展。

（3）

被 NDVI 受水热条件的共同限制，其中受且末气温和相对湿度影响更为显著。草地 NDVI 的 变化受春季气温、夏季降水量的影响明显；林地和 耕地的 NDVI 则受自然因素影响较小；生态输水对 台特玛湖地区植被改善起到了积极的促进作用。

参考文献（References）

[1] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利 用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14. [Liu Jiyuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, ... in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3-14.]

[2] 王姝怡. 近 30a 台特玛湖地区生态环境演变及影响因素研究 [D]. 石 家 庄: 河 北 师 范 大 学, 2019. [Wang Shuyi. Study on the evolution and driving factors of ecological environment in the Ta- itema Lake area in recent 30 years[D]. Shijiazhuang: Hebei Nor- mal University, 2019.]

[3] 周梦甜, 李军, 朱康文. 近 15 a 新疆 同类型 被 NDVI 时空动 态变化及对气候变化的响应[J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 779- 787. [Zhou Mengtian, Li Jun, Zhu Kangwen. Spatial-temporal dy- namics of different types of vegetation NDVI and its response to climate change in Xinjiang during 1998—2012[J]. Arid Land Ge- ography, 2015, 38(4): 779-787.]

[4] 武正丽, 贾文雄, 赵珍, 等. 2000—2012 年祁连山 被覆盖变化 及其与气候因子的相关性[J]. 干旱区地理, 2015, 38(6): 1241- 1252. [Wu Zhengli, Jia Wenxiong, Zhao Zhen, et al. Spatial-tempo- ral variations of vegetation and its correlation with climatic factors in Qilian Mountains from 2000 to 2012[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(6): 1241-1252.]

[5] 刘少华, 严登华, 史晓亮, 等. 中国 被 NDVI 与气候因子的年 际 变 化 及 相 关 性 研 究 [J]. 干 旱 区 地 理，2014, 37(3): 480- 489. [Liu Shaohua, Yan Denghua, Shi Xiaoliang, et al. Inter-annual vari- ability of vegetation NDVI, accumulated temperature and precipi- tation and their correlations in China[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(3): 480-489.]

[6] 赵鸿雁, 陈英, 周翼, 等. 甘肃中东部 被生长季 NDVI 时空变 化及其对气候因子的响应[J]. 干旱区地理, 2019, 42(6): 1427- 1435. [Zhao Hongyan, Chen Ying, Zhou Yi, et al. Spatiotemporal variation of NDVI in vegetation growing season and its responses to climatic factors in mid and eastern Gansu Province from 2008 to 2016[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(6): 1427-1435.]

[7] 刘成林, 樊任华, 武建军, 等. 锡林郭勒草原 被生长对降水响 应的滞后性研究[J]. 干旱区地理, 2009, 32(4): 512-518. [Liu

et al. Spatio- temporal characteristics, patterns and causes of land use changes

Chenglin, Fan Renhua, Wu Jianjun, et al. Temporal lag of grass- land vegetation growth response to precipitation in Xilinguolemeng [J]. Arid Land Geography, 2009, 32(4): 512-518.]

[8] 毕超. 基于多源数据的中国干旱半干旱区植被覆盖与物候对气 候变化的响应[D]. 北京: 北京林业大学, 2015. [Bi Chao. Dynam- ics of vegetation and phenology and their response to climate change based on multi- source data in the arid and semiarid re- gion, China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.]

[9] 李晓兵, 陈云浩, 张云霞, 等. 气候变化对中国北方荒漠草原被的影响[J]. 地球科学进展, 2002(2): 254- 261. [Li Xiaobing, Chen Yunhao, Zhang Yunxia, et al. Impact of climate change on desert steppe in northern China[J]. Advances in Earth Science, 2002(2): 254- 261.]

[10] 郭继凯. 塔里木河流域植被覆盖对气候变化和人类活动的响应 [D]. 北京: 北京林业大学, 2016. [Guo Jikai. Responses of vegeta- tion coverage to climate change and human activities in the Tarim

River Basin[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.]

[11] 王雅梅, 张青青, 徐海量, 等. 生态输水前后台特玛湖

物多样 性变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1186-1193. [Wang Ya- mei, Zhang Qingqing, Xu Hailiang, et al. Change of plant diversity in the Taitema Lake area before and after implementing the ecological water conveyance[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(5): 1186-1193.]

[12] 樊自立, 徐海量, 傅荩仪, 等. 台特玛湖湿地保护研究[J]. 第四纪

研究, 2013, 33(3): 594- 602. [Fan Zili, Xu Hailiang, Fu Jinyi, et al. Study on protection of wetland of Taitema Lake[J]. Quaternary Sciences, 2013, 33(3): 594-602.]

[13] 马明国, 宋怡, 王雪梅. 1973—2006 年新疆若羌湖泊群遥感

动

态监测研究[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 189-195. [Ma Mingguo, Song Yi, Wang Xuemei. Dynamically monitoring the lake group in Ruoqiang County, Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(2): 189-195.]

[14] 朱刚, 高会军, 曾光, 等. 西北内陆干旱区河流绿色走廊湿地景 观格

局变化及其生态效应研究——以车尔臣河下游为例[J]. 国 土 资

源 遥 感, 2010(86): 219- 223. [Zhu Gang, Gao Huijun, Zeng Guang, et al. Variation of wetland landscape pattern and its ecological effects in the green corridor of the arid inland in north-west China: A case study of the lower reaches of the Qarqan River [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2010(86): 219-223.]

[15] 蔡东旭, 李生宇, 刘耀中, 等. 台特玛湖干涸湖盆区

物风影沙 丘 的 形 态 特 征 [J]. 干 旱 区 地 理, 2017, 40(5): 1020-1028. [Cai Dongxu, Li Shengyu, Liu Yaozhong, et al. Morphological character- istics of shadow dunes of plant at dry lake bed of Taitema Lake[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(5): 1020-1028.]

[16] 陈国亮. 台特玛湖湖面面积与主要补给水源的关系分析[J]. 水 利科技

与经济, 2016, 22(7): 41-44. [Chen Guoliang. Analysis on the relationship between lake surface area and main recharge wa- ter sources in Taitema Lake[J]. Water Science and Technology and Economy, 2016, 22(7): 41-44.]

[17] 邓少福. 祁连山气候变化对

被的影响研究（2000—2011）[D]. 兰州: 兰州大学, 2013. [Deng Shaofu. Impacts of climate change on vegetation in Qilian Mountains from 2000 to 2011[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.]

[18] 赵霞, 谭琨, 方精云. 1982—2006 年新疆

被活动的年际变化

及其季节差异[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 10-16. [Zhao Xia, Tan Kun, Fang Jingyun. NDVI- based interannual and seasonal variations of vegetation activity in Xinjiang during the period of 1982—2006[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(1): 10-16.]

[19] 杨玲, 瓦哈甫·哈力克, 穆艾塔尔·赛地. 近 50a 来气候变化和人 类

活动对且末县水资源的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(1):1- 5. [Yang Ling, Halik Wahap, Saydi Muattar. The impact of climate change and anthropogenic activities on water re-sources variation during the past 50 years in Qerchen[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2010, 26(1): 1-5.]

[20] 迪力夏提·阿卜杜萨拉木, 阿

都克依木·阿布力孜, 周玄德, 等. 干旱区典型绿洲耕地扩张及其人文驱

动研究——以新疆且末绿洲为例[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(2): 131-136, 176. [Abdusalamu Dilixiati, Abulizi Abdukyimu, Zhou Xuande, et al. A study on the expansion of cultivated land in a typical oasis in arid areas and its humanistic drive: Taking Xinjiang Qiemo Oasis as an example[J]. Regional Research and Development, 2015, 34(2): 131-136, 176.]

[21] 张帅, 汪洋, 夏婷婷, 等. 塔里木河生态输水条件下土地利用/覆 被变

化对生态系统

务价值的影响[J]. 干旱区地理, 2021, 44 (3): 739- 749. [Zhang Shuai, Wang Yang, Xia Tingting, et al. Ef- fects of land use/cover change on ecosystem service value under the ecological water conveyance of Tarim River[J]. Arid Land Ge- ography, 2021, 44(3): 739-749.]

Land use/land cover change and influencing factors in the Taitema Lake in the past 30 years

JIA Danyang[1,2,3], XIONG Zhenzhen[1,2,3], GAO Yan[1,2,3], ZHANG Jiehua[1,2,3], WANG Shuyi[1,2,3], ZHAO Yuanjie[1,2,3]

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, Hebei, China; 2. Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Shijiazhuang 050024, Hebei, China; 3. Hebei Technology Innovation Center for Remote Sensing Identification of Environmental Change; Shijiazhuang 050024, Hebei, China)

Abstract: Changes in land use/land cover are a clear indication of changes in the ecological environment of arid areas. This paper utilizes land use data, on the basis of Landsat remote sensing data with a spatial resolution of 30 m, and observation data from meteorological stations in the Taitema Lake region, South Xinjiang, China between 1988 and 2017 to study the Kanlake wet land, approximately 30-km northwest of Taitema Lake, that was formed after the Taitema Lake and Qarqan River changed course. The land use/land cover type and the vegetation NDVI (Normalized difference vegetation index) change and its influencing factors in the Taitema Lake area over the past 30 years have been analyzed using the mean value method, the linear trend analysis method, the Pearson correlation analysis method, and the principal component analysis method. The results show that the land use/land cover has been dominated by grassland. The area of grassland and cultivated land showed a decreasing trend, whereas that of woodland showed an increasing trend. The NDVI of the vegetation showed an overall increasing trend, but this increasing trend was slow, which indicates that the ecological environment in this region has, on the whole, been developing toward improvement. The NDVI of the vegetation was also generally low, and it was only slightly higher in the area with good water conditions around Taitema Lake; the vegetation NDVI is restricted by both water and heat conditions, among which the effects of the lake temperature and relative humidity are more significant. The variation of the grassland NDVI is significantly affected by spring temperature and summer precipitation, and the NDVI of the forest land and cultivated land is less affected by natural factors. Ecological water transport has promoted the improvement of vegetation in this area. Further study of the evolution of the ecological environment and its corresponding relationship with influence factors in Taitema Lake area is needed both to formulate measures of vegetation recovery and growth in the study area in the construction of an ecological security barrier and the development of scientific and rational uses of water and land resources and to explore both the harmonious relationship between human activities and the evolution of the ecological environment and the scientific understanding of the region’s ecological environment status and existing problems. This paper is of important theoretical and practical significance, and it provides a data basis for carrying out ecological protection and ecological planning, both in theory and practice, and a scientific basis for the sustainable development of the economy and society, the effective protection of the ecological environment, and the sustainable utilization of natural resources in the Taitema Lake area. It also has important strategic significance in the promotion of the coordinated development of society, the economy, the environment, and various resources in the future, as well as in the construction of national sustainable development.

Key words: land use; NDVI; ecological environment; Taitema Lake